

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra telekomunikačnej techniky

Simulácia počítačovej siete v programe OPNET

Computer Network Simulation in OPNET

Zadání bakalářské práce

Student:

Jakub Mračko

Studijní program:

B2647 Informační a komunikační technologie

Studijní obor:

2612R059 Mobilní technologie

Téma:

Simulace počítačové sítě v programu OPNET
Computer Network Simulation in OPNET

Zásady pro vypracování:

Cílem bakalářské práce je provedení simulací přenosu dat v různých typech počítačových sítí s využitím simulačního programu OPNET a srovnání získaných výsledků s výsledky naměřenými na reálných zařízeních.

Osnova práce:

1. Popište vlastnosti simulačního programu OPNET.
2. S použitím programu OPNET proveďte simulaci přenosu dat v různých typech počítačových sítí.
3. Prozkoumejte přenosové parametry přenášených dat.
4. Získané údaje srovnajte s výsledky měření na reálných zařízeních v laboratoři.

Seznam doporučené odborné literatury:

Dokumentace k programu OPNET.

OLIFER, Natalia, OLIFER, Victor. *Computer Networks: Principles, Technologies and Protocols for Network Design*. Chichester: John Wiley & Sons, 2006. ISBN 0470869828.


BATES, Regis "Bud" J. *Broadband Telecommunications Handbook*. McGraw-Hill Professional, 2002. ISBN 0071398511.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Petr Machník, Ph.D.**

Datum zadání: 18.11.2011

Datum odevzdání: 04.05.2012


prof. RNDr. Vladimír Vašínek, CSc.
vedoucí katedry

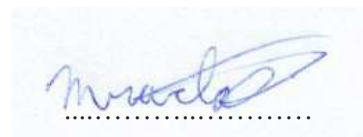



prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prehlásenie študenta

Prehlasujem, že som túto bakalársku prácu vypracoval samostatne. Uviedol som všetky literárne pramene a publikácie, z ktorých som čerpal.

Dňa: 04.05.2012



Podpis

Pod'akovanie

Rád by som pod'akoval Ing. Petrovi Machníkovi, Ph.D. za odbornú pomoc a konzultácie pri vytváraní tejto bakalárskej práce.

Abstrakt

Cieľom bakalárskej práce je priblíženie funkcií programu OPNET Modeler, vytvorenie simulácie prenosu dát v rôznych typoch počítačových sietí s využitím tohto programu, ako aj návodu na vytvorenie jednotlivých simulácií a porovnanie získaných výsledkov s výsledkami nameranými na reálnych zariadeniach v školskom laboratóriu. Porovnané sú siete s použitými protokolmi OSPF a RIP a jedna sieť s využitím bezdrôtového Wi-Fi pripojenia. V laboratóriu bolo pomocou programu ping zmerané oneskorenie zapojených sietí a programom iperf ich priepustnosť. Tieto dve hodnoty boli potom merané pri simuláciách v programe OPNET Modeler a nakoniec aj porovnané s reálnymi hodnotami.

Kľúčové slová

OPNET Modeler, počítačová sieť, OSPF, RIP, Wi-Fi

Abstract

Intention of thesis is to approach the functions of the OPNET Modeler program, creating simulations of data transmission in different types of computer networks using this program, as well as instructions for the creation of simulations and compare the results obtained with results measured on real devices in the school laboratory. Compared are networks using OSPF and RIP protocol, and wireless network using Wi-Fi connection. The delay of connected network was measured with the program ping and throughput of network with the program iperf. These two values were measured in simulations in OPNET Modeler program and eventually compared with real values.

Key words

OPNET modeler, computer network, OSPF, RIP, Wi-Fi

Zoznam použitých skratiek

Skratka	Anglický význam	Slovenský význam
AP	Access Point	Prístupový bod
DVA	Distance Vector Algorithm	Algoritmus pre smerovací protokol RIP
ICMP	Internet Control Message Protocol	Internetový kontrolný protokol správ
IEEE	Institut of Electrical and Electronics Engineers	Inštitút inžinierov elektrotechniky a elektroniky
IETF	Internet Engineering Task Force	Komisia techniky Internetu
IGP	Interior Gateway Protocol	interný smerovací protokol
IP	Internet Protocol	Internetový protokol
LSA	Link State Algorithm	Algoritmus stavu linky
OM	OPNET Modeler	
OSPF	Open Shortest Path First	Smerovací protokol
RIP	The Routing Information Protocol	Smerovací informačný protokol
SPF	Shortest Path First (Dijkstra algorithm)	Algoritmus najkratšej cesty
TCP	Transmission Control Protocol	Protokol kontroly prenosu
Wi-Fi	Wireless Fidelity	Slovná hračka „bezdrôtová vernosť“

Obsah

1	Úvod	1
2	Úvod do simulačného programu OPNET Modeler	3
2.1	Simulačný program OPNET Modeler	3
2.2	Editory	3
2.2.1	Project Editor (editor projektu).....	4
2.2.2	Node Editor (editor uzlu).....	4
2.2.3	Process Editor (editor procesu).....	5
2.3	Pracovná plocha	6
2.3.1	Hlavné menu.....	6
2.3.2	Tlačidlá	6
2.3.3	Pracovná oblasť	7
2.3.4	Nápoveda.....	7
2.3.5	Informačný riadok	7
2.4	Vytvorenie modelu siete.....	8
3	Simulácie sietí v OPNET Modeler	11
3.1	Simulácia č. 1- počítačová sieť používajúca smerovací protokol RIP	11
3.1.1	Smerovací protokol RIP	11
3.1.2	Vytvorenie simulácie RIP	11
3.1.3	Nastavenie priebehu simulácie	15
3.1.4	Namerané výsledky simulácie RIP	16
3.2	Simulácia č.2 - počítačová sieť používajúca smerovací protokol OSPF	17
3.2.1	Smerovací protokol OSPF	17
3.2.2	Vytvorenie simulácie OSPF	18
3.2.3	Namerané výsledky simulácie OSPF	19
3.3	Simulácia č. 3 - Wi-Fi sieť s prístupovým bodom	20
3.3.1	Charakteristika Wi-Fi	20
3.3.2	Štandard IEEE 802.11g	21

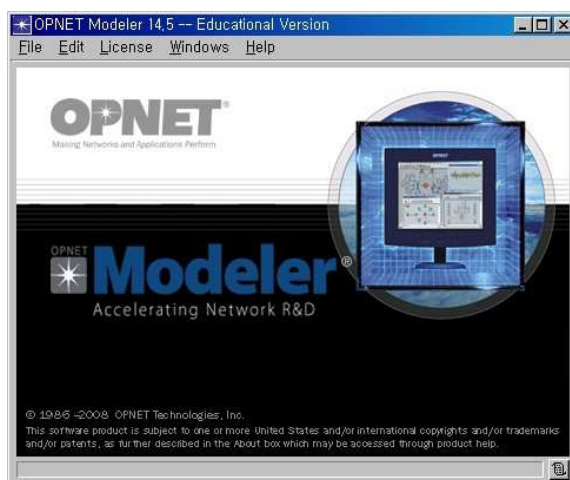
3.3.3	Vytvorenie simulácie Wi-Fi	21
3.3.4	Namerané výsledky simulácie Wi-Fi	22
4	Meranie na reálnych zariadeniach	24
4.1	Meranie oneskorenia pomocou programu ping	24
4.1.1	Meranie oneskorenia v sieti so smerovacím protokolom RIP	24
4.1.2	Meranie oneskorenia v sieti so smerovacím protokolom OSPF	24
4.1.3	Meranie oneskorenia vo Wi-Fi sieti	25
4.2	Meranie priepustnosti pomocou programu iperf	25
4.2.1	Meranie priepustnosti v sieti so smerovacím protokolom RIP	25
4.2.2	Meranie priepustnosti v sieti so smerovacím protokolom OSPF	26
4.2.3	Meranie priepustnosti vo Wi-Fi sieti	26
5	Porovnanie nameraných výsledkov	27
6	Záver.....	29

1 Úvod

Počítače tvoria v dnešnej dobe súčasť nášho života. Nestačí však už len použitie počítača samostatne, je nevyhnutné, aby „boli pripojené“. Sila počítačov sa ukáže až v momente, keď sú prepojené a môžu spolu komunikovať. Prepojenie dvoch alebo viacerých počítačov tvorí počítačovú sieť.

Budovanie počítačových sietí je v dnešnej dobe komplikované a dosť nákladné s vysokými požiadavkami na kvalitu služieb. Preto boli vyvinuté programy na simuláciu a následnú analýzu počítačových sietí, ktoré tak umožňujú predvídať ich chovanie a tak predchádzať komplikáciám pri ich samotnej realizácii. Medzi takéto programy patria OMNeT++, Packet Tracer, NIST NET, NETSIM a OPNET Modeler, ktorým sa táto bakalárska práca zaoberá.

Cieľom bakalárskej práce je zoznámenie sa s programom OPNET Modeler (Obr. 1.1) (ďalej OM), vytvoriť simulácie navrhnutých sietí a namerané výsledky oneskorenia a priepustnosti siete porovnať s výsledkami nameranými na reálnych zariadeniach v školskom laboratóriu N312 pomocou programov ping a iperf.



Obr. 1.1: Úvodné okno programu OPNET Modeler

Bakalárska práca je rozdelená do šiestich kapitol. Prvá časť práce je zameraná na úvod do simulačného programu OPNET Modeler, jeho popis a funkcie. Tento program má architektúru zloženú z troch základných prvkov. Hlavnú pracovnú oblasť tvorí editor projektu, ktorý slúži na samotné zostavovanie modelu siete. Jeho podúroveň tvorí editor uzlu. Každý uzol sa skladá z modelov, ktoré predstavujú aplikácie, protokolové vrstvy, algoritmy a fyzické prostriedky. Ich modifikáciou môžeme zmeniť vlastnosti uzlu a tým vytvoriť úplne nové zariadenie. Editor procesu tvorí najnižšiu podúroveň editorov. Slúži na ľahšie špecifikovanie úrovne modelu do detailu. Prvá časť taktiež obsahuje všeobecný návod na vytvorenie modelu siete, teda založenie nového projektu.

V druhej časti sa nachádzajú už návody na vytvorenie samotných simulácií. Konkrétne sa jedná o počítačové siete s použitými smerovacími protokolmi RIP a OSPF a o jednu Wi-Fi sieť s prístupovým bodom. U každej simulácii sa nachádza schéma zapojenia, postup jej vytvorenia a nastavenia. Na konci každého typu zapojenia sa nachádzajú grafy s nameranými výsledkami.

V piatej kapitole sa nachádzajú výsledky namerané v školskom laboratóriu. Pomocou programu ping bolo zmerané oneskorenie v jednotlivých sieťach a programom iperf ich maximálna priepustnosť. Tieto namerané hodnoty sú porovnávané s hodnotami zo simulácií v šiestej kapitole.

Záver obsahuje zhodnotenie celej bakalárskej práce a programu Opnet Modeler, jeho výhody a nevýhody.

2 Úvod do simulačného programu OPNET Modeler

2.1 Simulačný program OPNET Modeler

OM je veľmi praktický sieťový simulačný program vyvinutý firmou OPNET Technologies Inc., ktorý ponúka množstvo nástrojov pre návrh modelov sietí, ich simuláciu a analýzu. Umožňuje aj vytvorenie vlastných modelov jednotlivých zariadení, aplikácií a protokolov, čo znamená, že si môžeme upravovať aj existujúce alebo navrhnuť úplne nové sieťové zariadenia, a tak skúmať jeho chovanie. Pomocou tohto programu je možné nasimulovať chovanie akejkolvek počítačovej siete.

Dominantou OM je jeho grafické rozhranie, ktorým je návrh každej topológie rýchlejší a efektívnejší. Dôležitou vlastnosťou je možnosť vytvárať a analyzovať rôzne štatistiky a charakteristiky, ktoré sú generované vo forme grafov. Vďaka tejto vlastnosti môžeme overiť chovanie objektu v extrémnych podmienkach, ktoré ani nemusia nastať, ale získame tak výsledok chovania v danej situácii a tým predchádzať nežiaducim stavom. Práve preto je často využívaný spoločnosťami, ktoré sa zaoberajú návrhom a realizáciou informačných systémov, ktorým tak umožňuje zdokonaľiť a optimalizovať nedostatky siete ešte pred jej samotnou realizáciou.

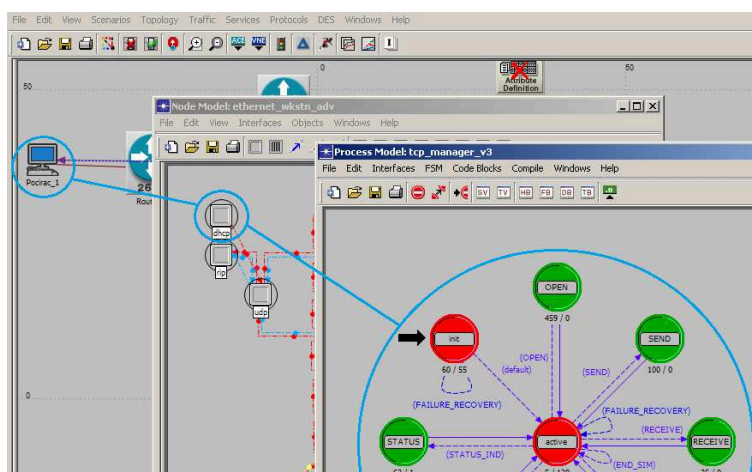
OM vyniká rýchlou schopnosťou spracovania dát pri simuláciách. Dokáže odsimulovať chovanie siete, ktoré by v reálnom zapojení trvalo týždne alebo mesiace, v priebehu niekoľkých minút alebo hodín. Výhodou je i multiplatformosť, čo znamená možnosť spustenia na každom operačnom systéme, ale aj možnosť spustenia animácií a tak názorne vidieť priebeh simulácie.

2.2 Editory

OM obsahuje skupinu editorov, na modelovanie, simuláciu a nastavenie chovania siete. Medzi najhlavnejšie patria:

- Project Editor
- Node Editor
- Process Editor

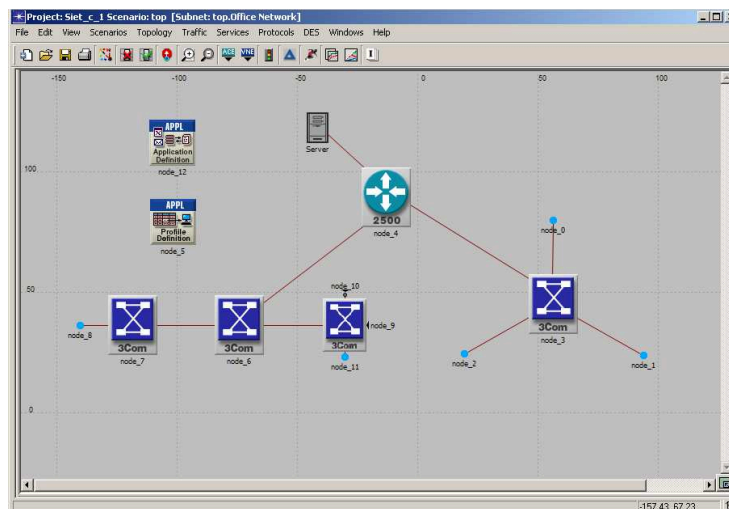
Nasledujúci obrázok (Obr. 2.1) zobrazuje prechod medzi jednotlivými editormi. Do nižšej vrstvy sa dostaneme dvojklikom na ľavé tlačidlo myši.



Obr. 2.1: Architektúra OPNET Modeleru

2.2.1 Project Editor (editor projektu)

Editor projektu (Obr. 2.2) je hlavná pracovná oblasť v OM pre vytvorenie topológie simulovanej siete. Umožňuje zostavenie siete pomocou objektov z knižnice (Model Library), zbierať štatistiky o sieti, spustiť samotnú simuláciu a prezrieť si výsledky. Použitím špecializovaných editorov, ktoré sú prístupné cez **File** → **New** umožňuje vytvárať vlastné uzly a modely, formáty paketov a prispôbovať parametre a filtre.

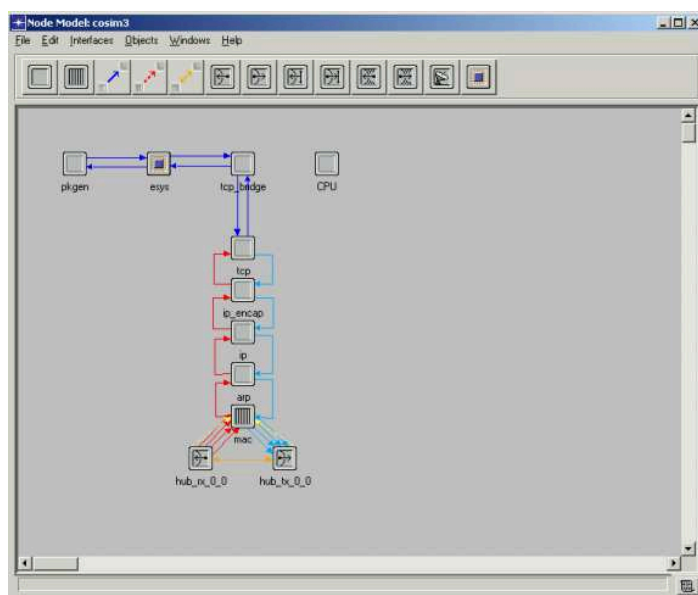


Obr. 2.2: Okno v editore projektu

2.2.2 Node Editor (editor uzlu)

Editor uzlu (Obr. 2.3) je podúroveň v editore projektu. Dostaneme sa do neho po dvojkliku na jeden z modelov v projektovom editore. Služi na vytváranie modelov uzlov v rámci siete v projektovom editore. Jednotlivé uzly sa skladajú z modulov, ktoré predstavujú aplikácie, protokolové vrstvy, algoritmy a fyzické prostriedky, ako sú buffery, porty a zbernice. Každý modul slúži na

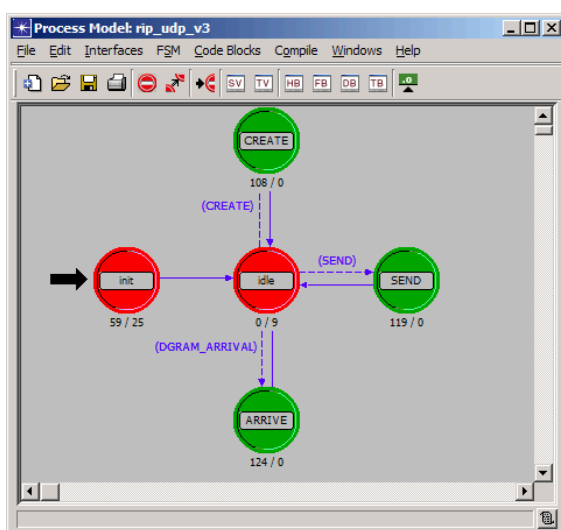
osobitné účely, môže generovať pakety, spracovávať pakety a posilať a prijímať pakety od ostatných modulov vo vnútri celého uzla.



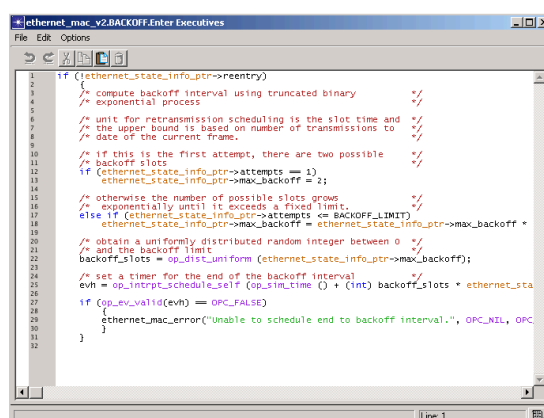
Obr. 2.3: Okno v editore uzlu

2.2.3 Process Editor (editor procesu)

Editor procesu (Obr.2.4) je najnižšia podúroveň. Služi pre tvorbu konečného stavového automatu FSM (Finite State Machines) prispôbeného snahe špecifikovať všetky úrovne modelu do detailu. Stavy a prechody sú definované v grafickom diagrame. Jednotlivé stavy sú implementované v jazyku C/C++ (Obr. 2.5).



Obr. 2.4: Okno v editore procesu



Obr. 2.5: Náhľad na C/C++ kód procesu modelu

2.3 Pracovná plocha

Hlavná časť OM, kde sa vytvára a upravuje väčšina projektu sa nachádza v editore projektu. Skladá sa z niekoľkých častí na vytvorenie a spustenie simulácie:

- hlavné menu
- tlačidlá
- pracovná oblasť
- nápovedy
- informačný riadok

2.3.1 Hlavné menu

Hlavné menu (Obr. 2.6) umožňuje prístup k funkciám editorov a k všetkým nastaveniam od vytvorenia projektu, až po nápovedu. Na obrázku je znázornené hlavné menu v projektovom editore.



Obr. 2.6: Hlavné menu

2.3.2 Tlačidlá

Tlačidlá (Obr. 2.7) sa nachádzajú priamo pod hlavným menu. Umožňujú rýchly prístup k najpoužívanejším funkciám editorov. Na obrázku nižšie sú zobrazené a následne v tabuľke (Tab. 2.1) vysvetlené tlačidlá projektového editoru.



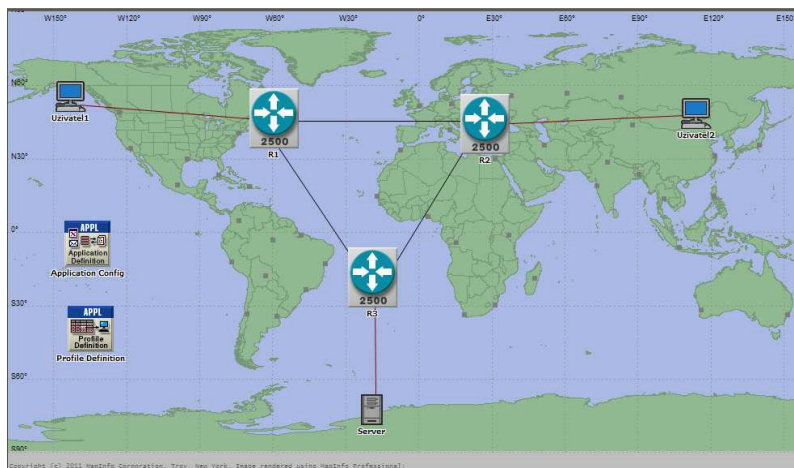
Obr. 2.7: Tlačidlá

1. nový	7. overiť zhodu odkazov	13. otvoriť centrum prenosov
2. otvoriť	8. späť o úroveň vyššie	14. generovať správy rozdielu scenáru siete
3. uložiť	9. priblíženie zobrazenia	15. spustenie a nastavenie simulácie
4. tlačiť	10. oddialenie zobrazenia	16. zobrazíť výsledok simulácie
5. paleta objektov	11. vložiť topológiu z ACE serveru	17. zobrazíť grafy simulácie
6. chybné vybraný objekt	12. vložiť topológiu z VNE serveru	18. vygenerovať zoznam použitých zariadení

Tab. 2.1: Popis tlačidiel

2.3.3 Pracovná oblasť

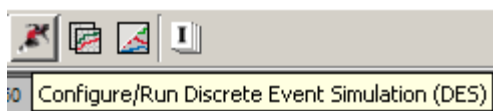
Pracovná oblasť (Obr. 2.8) je jedna z najdôležitejších častí. Služi na vkladanie a premiestňovanie objektov z palety objektov. Je možné vložiť na pozadie mapu sveta, alebo mapu konkrétneho štátu. Tvorí sa na nej samotná simulácia



Obr. 2.8: Pracovná oblasť

2.3.4 Nápoveda

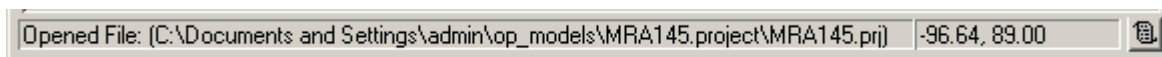
Pri prejdenní kurzorom myši na jednotlivé tlačidlá sa nám v bubline zobrazí nápoveda s vysvetlením (Obr. 2.9), čo dané tlačidlo znamená a akú ma funkciu.



Obr 2.9: Informačná bublina s nápovedou

2.3.5 Informačný riadok

V dolnej časti pod pracovnou oblasťou sa nachádza informačný riadok (Obr. 2.10), ktorý nám udáva informácie o stave prevedenej akcie. V ľavej oddelenej časti sa zobrazujú aktuálne súradnice kurzora myši, čo služi ako pomôcka pri umiestňovaní nového modelu alebo topológie. Na konci riadku sa nachádza ikona, ktorá služi na zobrazenie poslednej prevedenej akcie.



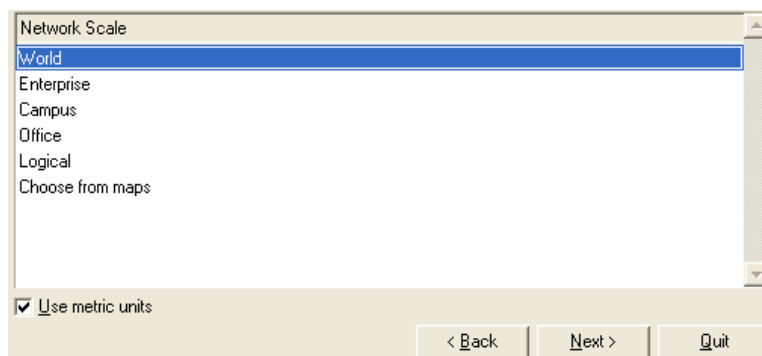
Obr 2.10: Informačný riadok

2.4 Vytvorenie modelu siete

Pri vytváraní modelu siete musíme najprv vytvoriť nový projekt (project) a scenár.

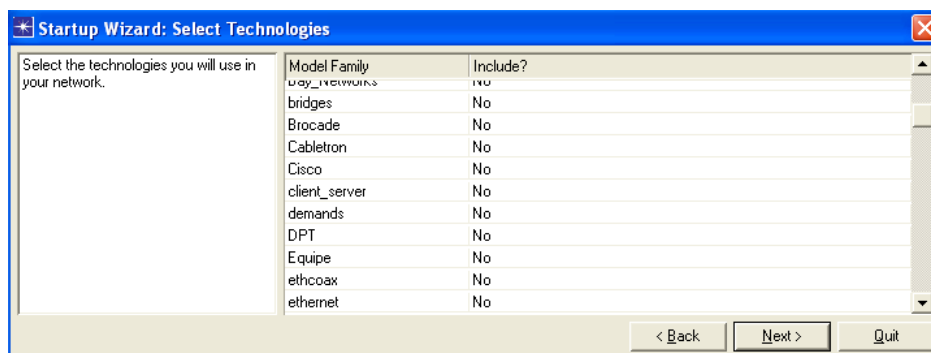
Postup:

- Spustíme OM.
- V hlavnom menu vyberieme položku **File** → **New** a potvrdíme vytvorenie projektu.
- Vložíme názov projektu a názov scenára a klikneme na OK.
- V **Initial Topology** vyberieme **Create Empty Scenario** pre vytvorenie prázdneho projektu.
- **Choose Network Scale** (Obr. 2.11) určuje veľkosť rozlohy. Môžeme si vybrať z variant, ako **World** (svet), **Enterprise** (podnik), **Campus** (školský priestor), **Office** (kancelária), **Logical** (prázdne pole), **Choose from maps** (Výber z konkrétnych častí sveta). a **Use Metric Unit** určuje o aké jednotky miery sa bude jednať. V tomto prípade pôjde o metrické jednotky.

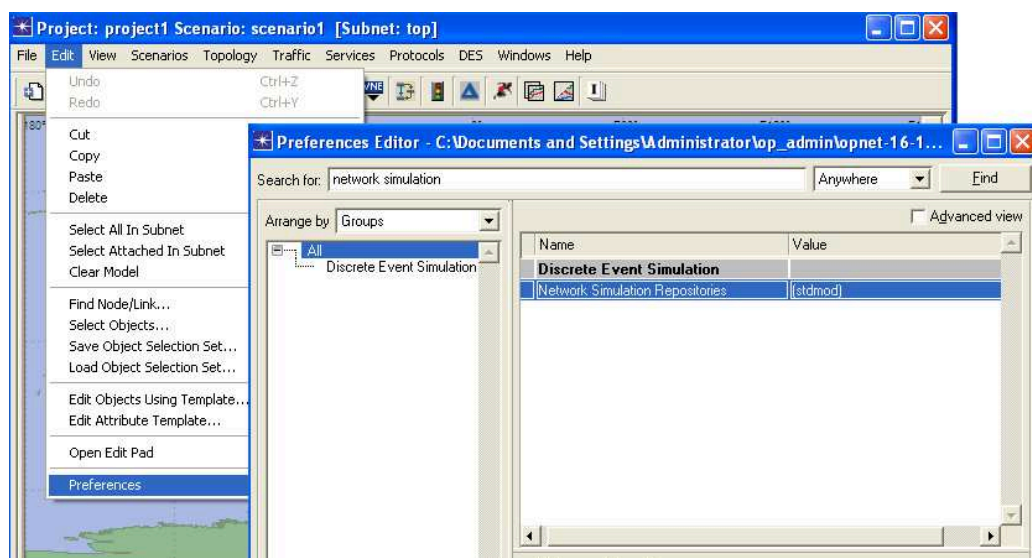


Obr. 2.11: Výber pracovného poľa

- V **Specify Size** zadávame požadované rozmery.
- **Select Technologies** (Obr. 2.12) umožňuje vybrať zostavu, ktorá obsahuje modely pre nami simulovanú sieť.



Obr. 2.12: Výber skupiny modelov



Obr. 2.14: Nastavenie simulácie - stdmod

3 Simulácie sietí v OPNET Modeler

V nasledovnej kapitole sa nachádzajú návrhy jednotlivých simulovaných modelov sietí aj s ich podrobným návodom, ako jednotlivé simulácie vytvoriť a nastaviť. Bude sa jednať o tri simulácie. Na konci sa vždy nachádzajú grafy s nameranými hodnotami. Tieto hodnoty sú neskôr porovnané s výsledkami nameranými na reálnych zariadeniach.

Simulované modeli sietí s porovnanými výsledkami:

- simulácia č. 1 - počítačová sieť používajúca smerovací protokol RIP
- simulácia č. 2 - počítačová sieť používajúca smerovací protokol OSPF
- simulácia č. 3 - Wi-Fi sieť s prístupovým bodom

3.1 Simulácia č. 1- počítačová sieť používajúca smerovací protokol RIP

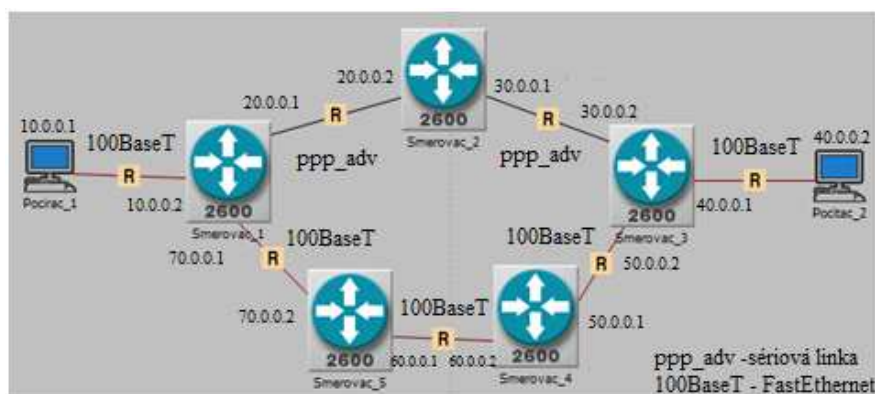
3.1.1 Smerovací protokol RIP

Prvá simulácia je zameraná na sieť, ktorá využíva na prenos dát smerovací protokol RIP. Protokol RIP (Routing Information Protocol) slúži k výmene informácií o smerovaní v štruktúrach prepojených sietí malých a stredných veľkostí.

Je to jeden z prvých smerovacích protokolov, ktorý bol vyvinutý firmou Xerox. Najväčšou výhodou protokolu RIP je jeho jednoduchosť nastavenia a uvedenia do prevádzky. Využíva pre distribúciu ciest algoritmus DVA (Distance Vector Algorithm). Smerovače nepoznajú topológiu siete, iba rozhranie (IP adresy susedov), cez ktoré majú posielat' pakety do jednotlivých sietí a vzdialenosť k týmto sieťam (tzv. distančné vektory). Smerovač odosiela každých 30 sekúnd všetkým svojim susedom svoju smerovaciu tabuľku. Pri prijatí smerovač rozhodne, či pozná lepšiu cestu k danej sieti (podľa počtu preskokov). Najvyšší počet preskokov je 15. Siete, vzdialené 16 a viacej, sú považované za nedostupné. Smerovací protokol RIP vyberá vždy najkratšiu cestu k požadovanému cieľu siete, s najmenším počtom preskokov.[1] [2]

3.1.2 Vytvorenie simulácie RIP

Simulovaná sieť so smerovacím protokolom RIP bola vytvorená podľa nižšie uvedeného návrhu (Obr. 3.1), ktorý zodpovedá reálnemu zapojeniu. Topológia sa skladá z piatich smerovačov a dvoch počítačov. Na prepojenie bola použitá sériová a FastEthernet linka.

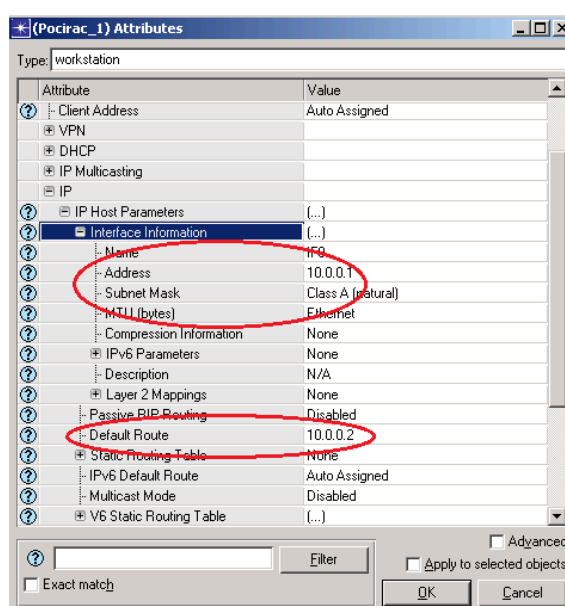


Obr. 3.1: Topológia siete so smerovacím protokolom RIP

Samotné vytvorenie simulácie začína pri vytvorení projektu, ako som to popísal v predošlej kapitole (2.4 Vytvorenie modelu siete). Po jeho vytvorení, otvoríme **Object Palette**, kde začneme vyberať potrebné objekty. Ako prvé si vyberieme smerovače. OM obsahuje rozsiahle knižnice zariadení od svetoznámych výrobcov. V laboratóriu N312 sa nachádzajú smerovače CISCO série 2800. Tento typ smerovačov knižnica neobsahuje preto som vybral porovnateľný smerovač **CISCO 2621**. Ďalej presunieme počítače. Použijeme **ethernet_wkstn**. Nakoniec je potrebné prepojiť jednotlivé komponenty linkami. Medzi Smerovac_1, Smerovac_2 a Smerovac_3 použijeme sériovú linku **ppp_adv** a ostatné komponenty prepojíme FastEthernet linkou **100BaseT**.

Nastavenie počítača (Obr. 3.2):

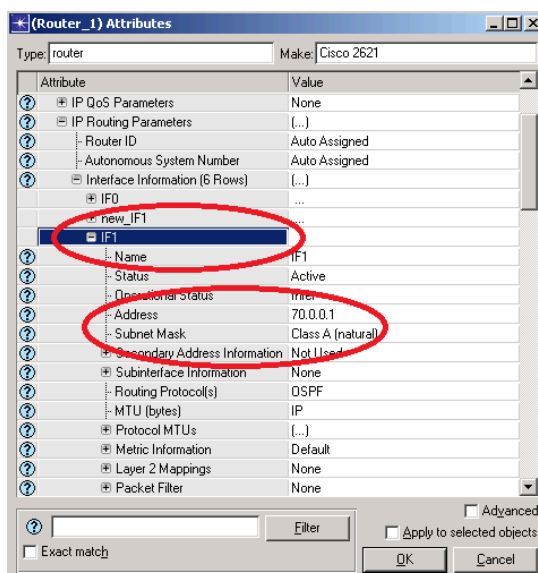
- **Edit Attributes** → **IP** → **IP Host Parameters** → **Address** (IP adresa), **Subnet Mask** (maska podsiete), **Default Route** (brána podsiete)



Obr. 3.2: Nastavenie počítača

Nastavenie smerovača (Obr. 3.3):

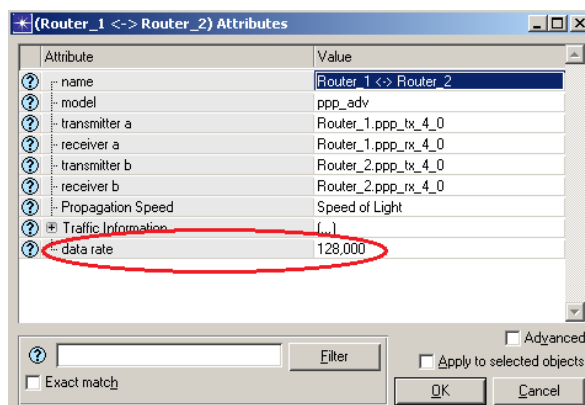
- **Edit Attributes** → **IP** → **IP Routing Parameters** → **Interface Information** → napr. **IF0** (číslo portu) → **Address** (IP adresa), **Subnet Mask** (maska podsiete). Čísla zapojených portov zistíme pravým kliknutím na linku, ktorá vedie ku danému prvku v sieti.



Obr. 3.3: Nastavenie smerovača

Nastavenie sériovej linky (Obr. 3.4):

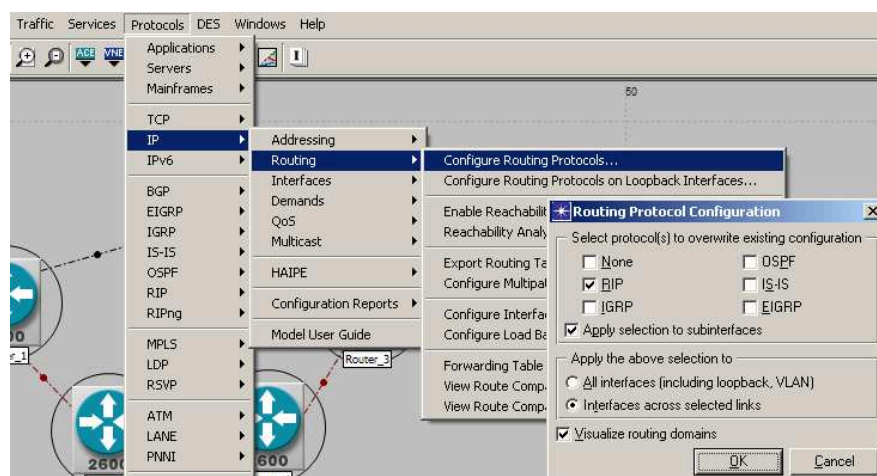
- **Edit Attributes** → **data rate** : 128 000 bit/s (prenosová rýchlosť linky)



Obr. 3.4: Nastavenie sériovej linky

Nastavenie RIP protokolu (Obr. 3.5):

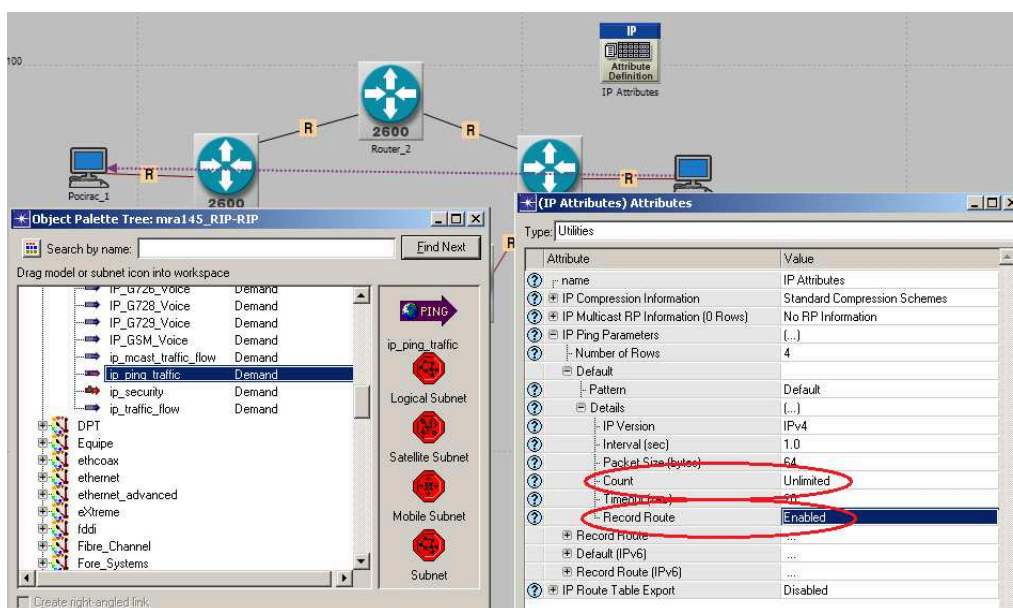
- Označíme celú topológiu → **Protocols** → **IP** → **Routing** → **Configure Routing Protocols**.



Obr. 3.5: Nastavenie smerovacieho protokolu RIP

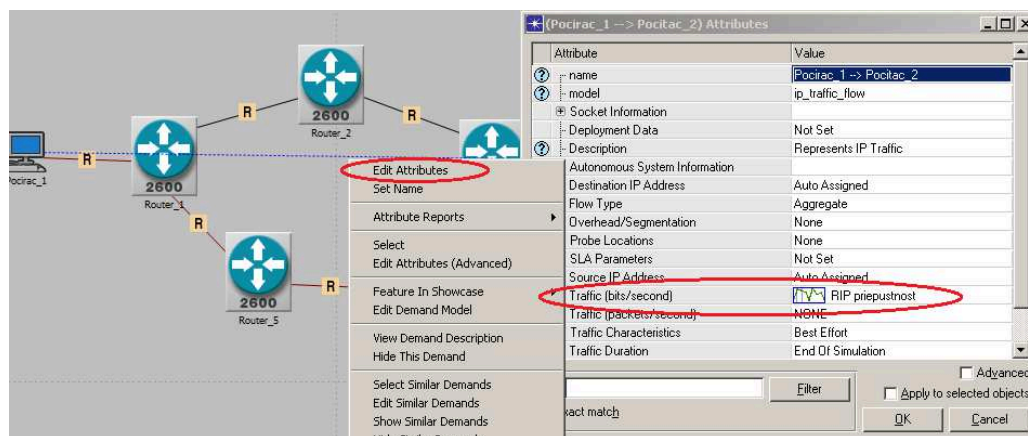
Ďalej treba nastaviť simuláciu programu ping a generovanie prevádzky v sieti. Nájde ho v **Object Palette** v zložke **Demands**. Pomocou **ip_ping_traffic** (Obr. 3.6) simulujeme ping a pomocou **ip_traffic_flow** prevádzku siete. Kliknutím na uzol určíme zdroj prevádzky a pingu. Následne určíme kam bude prevádzka a ping smerovať.

Pri určení smeru pingu pribudne na pracovnej ploche objekt **IP Attributes**. Ten slúži na definovanie programu ping. Vstúpime do editácie atribútov, v **IP Ping Parameters** → **Default** → **Details** → **Count** zmeníme na **Unlimited** a **Record Route** na **Enable**, aby sme vo výsledkoch mohli vidieť cestu pingu.



Obr. 3.6: Vytvorenie a nastavenie pingu


Po určení smeru prevádzky klikneme na vytvorení tok a budeme editovať atribúty. V **Traffic (bits/second)** nadefinujeme veľkosť prevádzky, ako je to znázornené na Obr. 3.7. Bude generovaných 128 000 bitov za sekundu, čo predstavuje maximálnu priepustnosť linky.



Obr. 3.7: Nastavenie prevádzky v sieti

Nakoniec je potrebné určiť sledované štatistiky. Pravým tlačidlom klikneme na plochu a vyberieme **Choose Individual Statistic**. V **Node Statistics** vyberieme **IP** a v ňom **Ping Response Time (sec)**. To nám umožní sledovať oneskorenie v sieti. V **Demand Statistics** zasklikneme **Traffic Received (bits/sec)**. Táto štatistika slúži na sledovanie priepustnosti siete.

3.1.3 Nastavenie priebehu simulácie

Na záver ešte nastavíme priebeh simulácie. Okno na nastavenie a spustenie simulácie sa zobrazí po kliknutí na toto tlačidlo . Zobrazené okno (Obr. 3.8) umožňuje nastaviť nasledovná hodnoty:

- **Duration** - určuje dĺžku trvania simulácie.
- **Seed** - špecifikuje hodnoty násady pre generátor pseudonáhodných čísel. Pri opätovnom spustení simulácie a zachovaní rovnakej hodnoty násady budú generované rovnaké hodnoty, čo využijeme pri porovnaní výsledkov po vykonaní zmien na simulovanej sieti
- **Values per statistics** - slúži na nastavenie maximálneho počtu zaznamenaných hodnôt
- **Update Interval** - udáva interval aktualizácie počas priebehu simulácie

Duration: 10 minute(s)

Seed: 128 Enter Multiple Seed Values...

Values per statistic: 100

Update interval: 10000 events

Simulation Kernel: Optimized

☐ Use OPNET Simulation Debugger (ODB)

3.8: Nastavenie simulácie

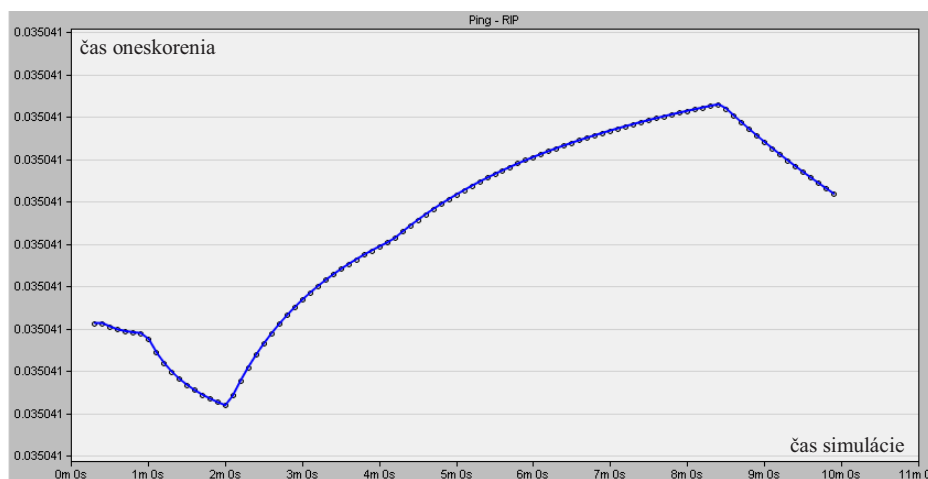
V mojej simulácii je nasledovné nastavenie týchto hodnôt: Duration - 10 minutes, Seed - 128, Values per statistics - 100, Update interval - 10000.

Po spustení simulácie sa objaví informačný panel, kde môže sledovať jej priebeh, odhadovaný čas do ukončenia simulácie, ale aj zaťaženie pamäti počítača.

3.1.4 Namerané výsledky simulácie RIP

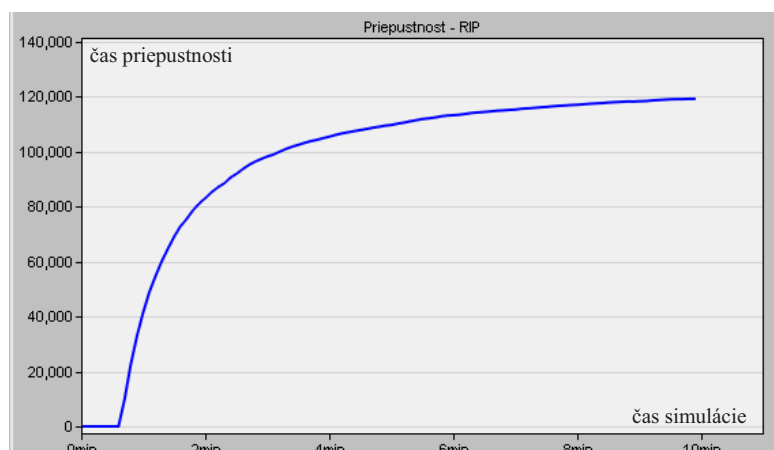
Namerané výsledky z každej simulácie nájdeme po kliknutí na ikonu  (View Results).

Obrázok (Obr. 3.9) popisuje oneskorenie namerané programom ping. Priemerná hodnota oneskorenia je 0,035 s, čo je 35 ms.



Obr. 3.9: Graf znázorňujúci oneskorenie pri simulácii pingu - RIP

Nasledujúci obrázok (Obr. 3.10) znázorňuje priepustnosť siete, ktorá bola nameraná pri generovaní prevádzky. Na grafe môže vidieť, že priepustnosť siete nepresiahne 120 Kbit/s. Maximálna nameraná priepustnosť je 119,8 Kbit/s.



Obr. 3.10: Graf znázorňujúci priepustnosť siete - RIP

Vďaka povoleniu **Record Route**, ktoré som popísal v podkapitole 3.1.2 môžeme teraz vidieť cestu paketov pri pingu (Obr. 3.11), čím dokážem, že pri smerovacom protokole RIP je vždy zvolená najkratšia cesta ku danému prvku v sieti na základe metriky, teda v závislosti na počte preskokov.

	IP Address	Hop Delay	Node Name	MPLS Label	MPLS EXP
1	40.0.0.2	0.000	Office Network.Pocitac_2		
2	30.0.0.2	0.000	Office Network.Router_3		
3	20.0.0.2	0.009	Office Network.Router_2		
4	10.0.0.2	0.009	Office Network.Router_1		
5	10.0.0.1	0.000	Office Network.Pocirac_1		
6	10.0.0.1	0.000	Office Network.Pocirac_1		
7	20.0.0.1	0.000	Office Network.Router_1		
8	30.0.0.1	0.009	Office Network.Router_2		
9	40.0.0.1	0.009	Office Network.Router_3		
10	40.0.0.2	0.000	Office Network.Pocitac_2		

Obr. 3.11: Cesta paketov pri pingu - RIP

3.2 Simulácia č.2 - počítačová sieť používajúca smerovací protokol OSPF

3.2.1 Smerovací protokol OSPF

Druhá simulácia je zameraná na sieť s použitím smerovacieho protokolu OSPF. Protokol OSPF (Open Shortest Path First) je určený k výmene informácií o smerovaní v rozsiahlych sieťach. Jedná sa o smerovací protokol navrhnutý pracovnou skupinou IETF - IGP v roku 1988.

Vychádza z algoritmu SPF, prostredníctvom ktorého prepočítava každý smerovač siete najkratšiu cestu k ľubovoľnému uzlu siete. Smerovače siete vykonávajú periodicky prostredníctvom správ LSA a protokolu „Hello“ kontrolu dostupných smerovačov a kontrolu stavu pripojených liniek ku smerovačom. V správach LSA je popísaný nielen stav lokálneho smerovača, ale i stavy rozhraní (liniek) so susednými smerovačmi. Na základe paketov LSA sú v každom zo smerovačov siete

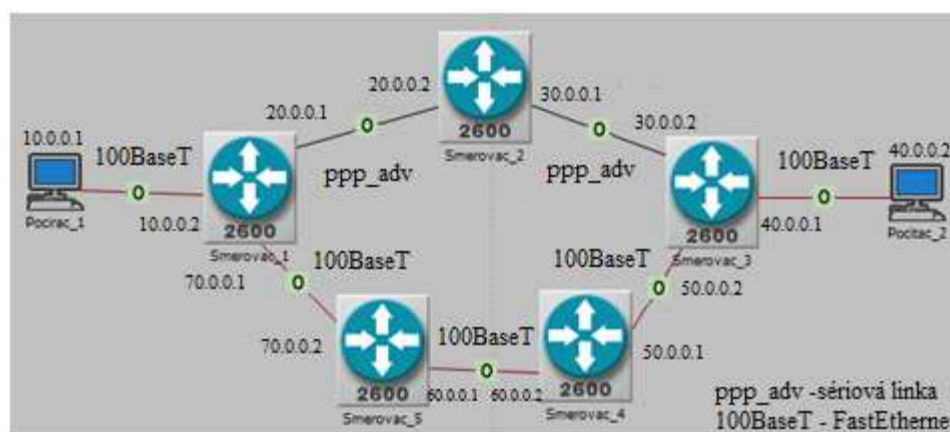
vytvárané, aktualizované a synchronizované tzv. databázy topológie siete OSPF. Každý smerovač si vytvára strom (koreňom stromu je aktuálny smerovač) najkratších ciest ku všetkým ostatným smerovačom a k nim pripojeným sieťam pomocou Dijkstrového algoritmu (SPF). Zo stromu majú smerovače informácie nielen o najvýhodnejších cestách, ale i o najlepšej alternatívnej ceste k cieľu. Najvýhodnejšiu cestu k cieľovej sieti určuje podľa metriky. Protokol OSPF používa metriku označovanú ako cena (cost). To je číslo v rozsahu 1 až 65535, priradené ku každému rozhraniu smerovača. Čím menšie číslo, tým má cesta lepšie metriku a bude teda viac preferovaná. Štandardne je ku každému rozhraniu priradená cena automaticky odvodená zo šírky pásma daného rozhrania podľa vzťahu:

$$\text{cost} = 100000000 / \text{bandwidth v bit/s}$$

Použitá sériová linka 128 Kbit/s bude mať cenu linky $100\,000\,000/128\,000 = 781$. Linky FastEthernetu mávajú automaticky priradenú cenu linky 1. [1] [3]

3.2.2 Vytvorenie simulácie OSPF

Simulovaná sieť so smerovacím protokolom OSPF bola vytvorená podľa nižšie uvedeného návrhu (Obr. 3.12), ktorý zodpovedá reálnemu zapojeniu. Topológia sa taktiež ako predchádzajúca sieť skladá z piatich smerovačov a dvoch počítačov. Na prepojenie bola použitá sériová a FastEthernet linka.

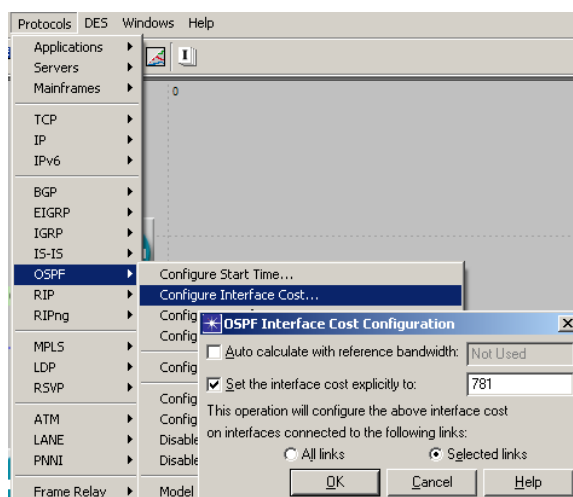


Obr. 3.12: Topológia siete so smerovacím protokolom OSPF

Pri vytvorení tejto simulácie využijeme funkciu OM na duplikovanie už nastavených modelov sietí. Rozklikneme v hornom paneli **Scenarios** a klikneme na **Duplicate Scenario...** (prípadne použijeme klávesovú skratku Ctrl+Shift+D). Ďalej vložíme názov nového scenára, v našom prípade to bude OSPF a potvrdíme.

Následne vyznačíme celú topológiu a zmeníme použitý smerovací protokol **Protocols** → **IP** → **Routing** → **Configure Routing Protocols ...** → **OSPF**.

Potrebujeme zadať ceny liniek (Obr. 3.13). Vyznačíme linky medzi Smerovac_1-Smerovac_2-Smerovac_3. Klikneme na **Protocols** → **OSPF** → **Configure Interface Cost ...** Tu zaklikneme **Set the interface cost explicitly to:** a dopíšeme požadovanú cenu linky, teda 781 (podkapitola 4.2.1). Obdobným spôsobom to spravíme pre linky medzi Smerovac_1- Smerovac_5-Smerovac_4- Smerovac_3, kde nastavíme cenu linky na 1.



Obr. 3.13: Nastavenie cien liniek

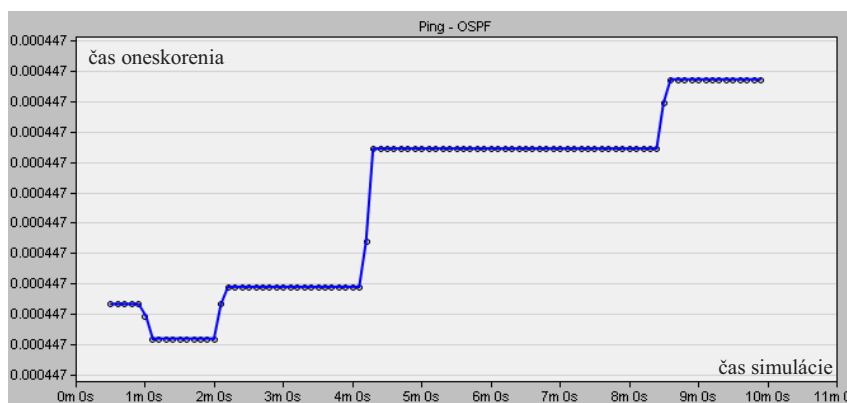
Nastavenie **ip_ping_traffic**, **ip_traffic_flow** urobíme podľa postupu v podkapitole 3.1.2. V **ip_traffic_flow** nastavíme prevádzku v sieti na maximálnu hodnotu priepustnosti siete, čo je

100 Mbit/s. Nastavenie simulácie nastavíme rovnako ako v podkapitole 3.1.3.

3.2.3 Namerané výsledky simulácie OSPF

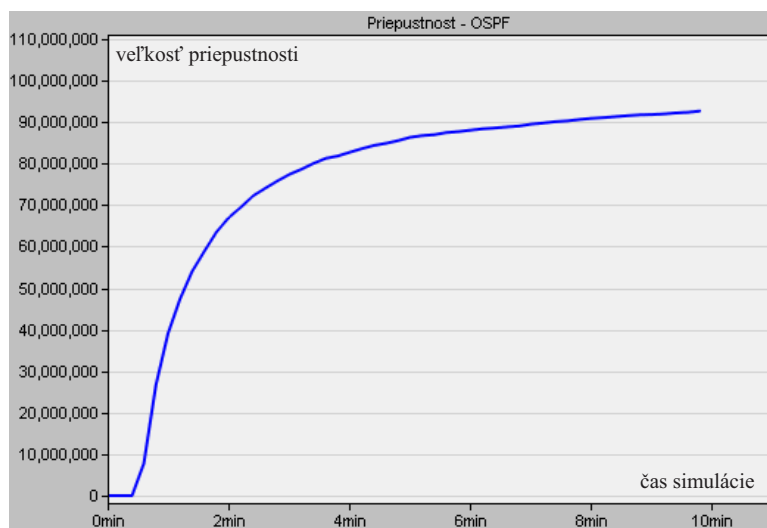
Namerané výsledky z každej simulácie nájdeme po kliknutí na ikonu  (View Results).

Nasledujúci obrázok (Obr. 3.14) popisuje oneskorenie namerané programom ping. Priemerná hodnota oneskorenia je 0,00045 s, čo je 0,45 ms.



Obr. 3.14: Graf znázorňujúci oneskorenie pri simulácii pingu po dobu 10 minút - OSPF

Obrázok (Obr. 3.15) zobrazuje priepustnosť siete, ktorá bola nameraná pri generovaní prevádzky pri použití smerovacieho protokolu OSPF. Maximálna priepustnosť siete je 92,7 Mbit/s.



Obr. 3.15: Znárodňuje priepustnosť linky pri použití smerovacieho protokolu OSPF

Povolením Record Route, teda zaznamenaním smerovacej tabuľky, ktorej nastavenie popisuje podkapitola 3.1.2 môžeme vidieť na nasledujúcom obrázku (Obr. 3.16), že protokol OSPF skutočne vyberie cestu s lepšou metrikou (podkapitola 3.2.1).

	IP Address	Hop Delay	Node Name	MPLS Label	MPLS EXP
1	40.0.0.2	0.000	Office Network.Pocitac_2		
2	50.0.0.2	0.000	Office Network.Router_3		
3	60.0.0.2	0.000	Office Network.Router_4		
4	70.0.0.2	0.000	Office Network.Router_5		
5	10.0.0.2	0.000	Office Network.Router_1		
6	10.0.0.1	0.000	Office Network.Pocirac_1		
7	10.0.0.1	0.000	Office Network.Pocirac_1		
8	70.0.0.1	0.000	Office Network.Router_1		
9	60.0.0.1	0.000	Office Network.Router_5		
10	50.0.0.1	0.000	Office Network.Router_4		
11	40.0.0.1	0.000	Office Network.Router_3		
12	40.0.0.2	0.000	Office Network.Pocitac_2		

Obr. 3.16: Cesta paketov pingu pri použití smerovacieho protokolu OSPF

3.3 Simulácia č. 3 - Wi-Fi sieť s prístupovým bodom

3.3.1 Charakteristika Wi-Fi

Wi-Fi môžeme charakterizovať ako spôsob komunikácie medzi bezdrôtovými zariadeniami. Je to protokol používaný k bezdrôtovej komunikácii. U zariadení Wi-Fi je spolupráca a chod zaručený v určitom štandarde 802.11 bezdrôtových sietí stredného dosahu.

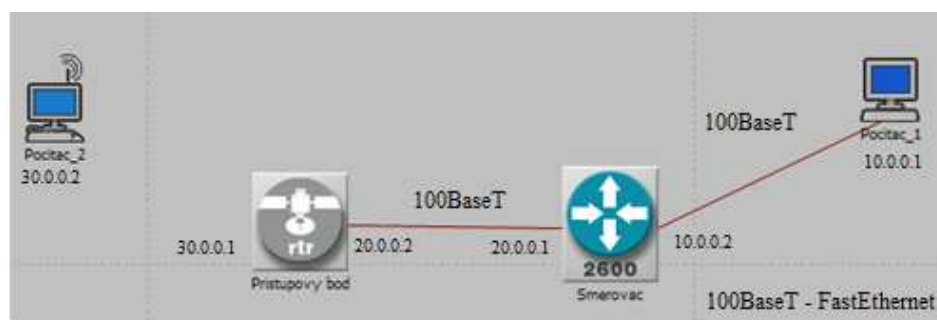
Štandard 802.11 je vyvinutý organizáciou IEEE. Na rozdiel od rady iných bezdrôtových štandardov funguje 802.11 na „voľnej“ časti rádiového spektra. To znamená, že (napr. oproti mobilným telefónom) na vysielanie a komunikáciu pomocou 802.11 nie je potrebná žiadna licencia. Spektrami v súčasnej dobe využívanými štandardom 802.11 sú 2,4 GHz a 5 GHz. [4]

3.3.2 Štandard IEEE 802.11g

V simulácii využívam normu IEEE 802.11g, ktorá má maximálnu prenosovú rýchlosť 54 Mbit/s. Používa metódu rozprestretého spektra OFDM. Pracuje vo frekvenčnom pásme 2,4 GHz a je spätne kompatibilná so staršou normou 802.11b. [5]

3.3.3 Vytvorenie simulácie Wi-Fi

Simulácia bezdrôtovej siete s využitím Wi-Fi zodpovedá nižšie uvedenému obrázku (Obr. 3.17), ktorý je totožný s reálnym zapojením. Topológia sa skladá z počítača s možnosťou Wi-Fi pripojenia, prístupového bodu, smerovača série 2600, počítača a FastEthernet linky.

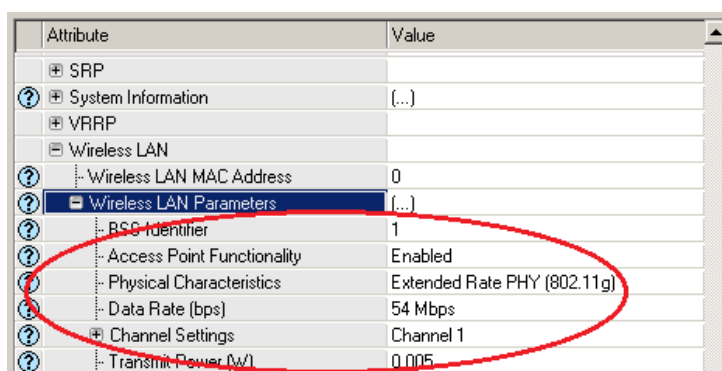


Obr. 3.17: Wi-Fi topológia siete

Ako prvé si vytvoríme projekt podľa postupu v podkapitole 2.4. Po jeho vytvorení začneme skladať model siete podľa navrhutej topológie (Obr. 3.17). Otvoríme si **Object Palette** a v **Shared Object Palettes** sekciu **ethernet**, kde nájdeme počítač **ethernet_station**. Umiestnime ho na plochu. Ďalej vo **wireless_lan** nájdeme prístupový bod **wlan_ethernet_router** a tiež ho umiestnime na plochu. Do kolonky **Search by name:** dáme vyhľadávať **cisco 2611**. Jedná sa o použitý smerovač. Jednotlivé prvky prepojíme linkou **100BaseT**, ako je to na Obr. 3.17.

Na jednotlivých prvkoch nastavíme IP adresy podľa vyššie uvedeného obrázku (Obr. 3.17). Postup nastavenia adresy je popísaný v podkapitole 3.1.2.

Na prístupovom bode je dôležité povoliť funkciu prístupového bodu, určiť normu - **Physical Characteristics** a kanál - **Channel Settings**, na ktorom bude s počítačom komunikovať, ako je to na obrázku (Obr. 3.18). Rovnaké nastavenie spravíme aj na počítači s bezdrôtovým pripojením, avšak funkciu prístupového bodu ponecháme na **Disable**.



Obr. 3.18: Nastavenie prístupového bodu

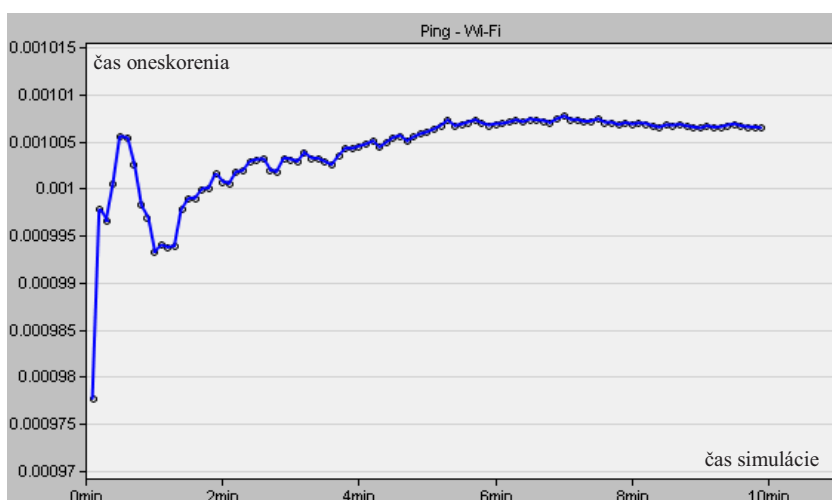
Nakoniec nastavíme ping a prevádzku v sieti a sledované štatistiky podľa podkapitoly 3.1.2. V **Traffic (bits/second)** pri definícii prevádzky nastavíme 54 Mbit/s, čo je maximálna priepustnosť siete, ktorá používa normu 802.11g.

Nastavenie priebehu simulácie je vo všetkých typoch sietí rovnaký, preto budeme postupovať podľa popisu nastavenia v podkapitole 3.1.3.

3.3.4 Namerané výsledky simulácie Wi-Fi

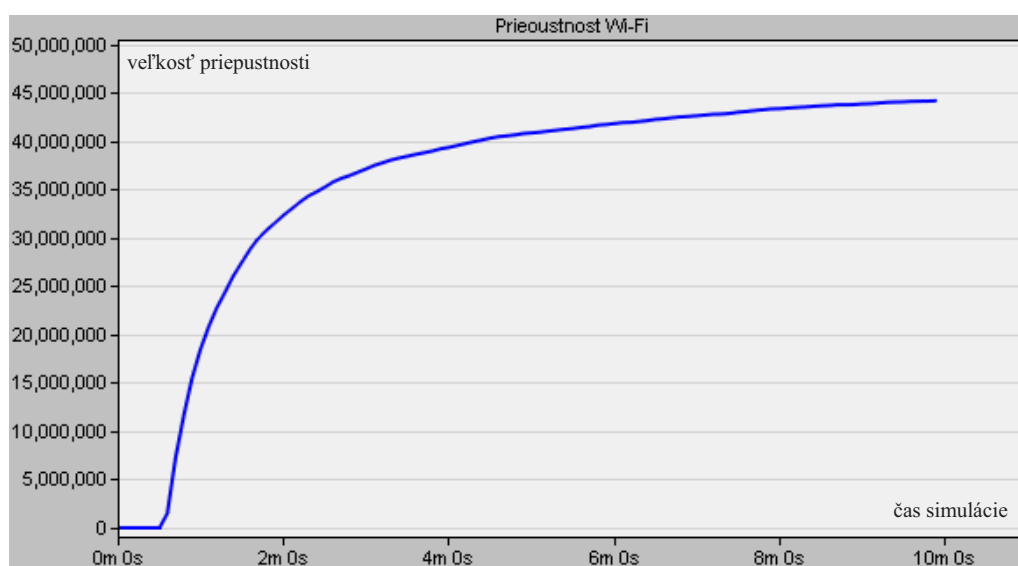
Namerané výsledky z každej simulácie nájdeme po kliknutí na ikonu  (View Results).

Nasledujúci obrázok (Obr. 3.19) znázorňuje oneskorenie namerané programom ping pri simulácii po dobu 10 minút. Priemerná hodnota oneskorenia je 0,001005 s, čo je približne 1ms.



Obr. 3.19: Graf znázorňujúci oneskorenie pri pingu - Wi-Fi

Obrázok (Obr. 3.20) zobrazuje priepustnosť siete, ktorá bola nameraná pri generovaní prevádzky vo Wi-Fi sieti. Maximálna priepustnosť je 44,2 Mbit/s.



Obr. 3.20: Graf znázorňuje priepustnosť Wi-Fi

4 Meranie na reálnych zariadeniach

Meranie, ktoré som robil na reálnych zariadeniach bolo v školskom laboratóriu N312. Topológie sietí boli totožné s topológiami ku jednotlivým simuláciám. Pomocou programu ping som zmeral oneskorenie v sieti a programom iperf ich priepustnosť. Jednotlivé výsledky sa nachádzajú nižšie v tejto kapitole.

4.1 Meranie oneskorenia pomocou programu ping

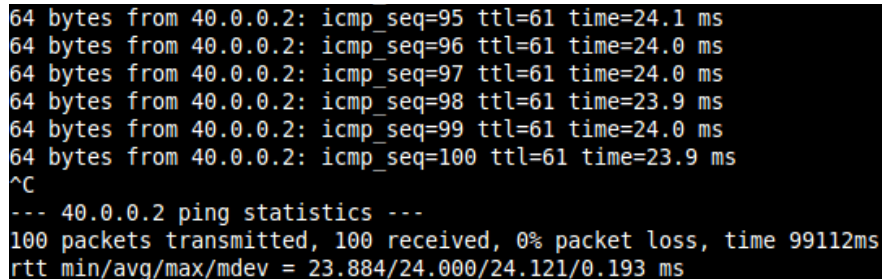
Program ping je užitočný nástroj na riešenie problémov konektivity siete. Funguje v sieti TCP/IP tak, že odosiela správy Echo ICMP (Internet Control Message Protocol) cieľovému uzlu. Ak je sieť spolu so všetkými prvkami správne nastavená, cieľový uzol obdrží správy Echo ICMP a následne odpovie správou Echo Response na každú správu Echo, ktorú obdrží. Správa Echo Response tiež potvrdí všetky dáta, ktoré odosielateľ poskytol v odchádzajúcej správe Echo. [6]

Program ping sa spúšťa z príkazového riadku vo formáte :

> ping <IP adresa cieľového uzlu>

4.1.1 Meranie oneskorenia v sieti so smerovacím protokolom RIP

Na nižšie uvedenom obrázku (Obr. 4.1) môžeme vidieť namerané hodnoty oneskorenia v sieti, kde bol použitý smerovací protokol RIP. Priemerná nameraná hodnota je 24 ms.



```
64 bytes from 40.0.0.2: icmp_seq=95 ttl=61 time=24.1 ms
64 bytes from 40.0.0.2: icmp_seq=96 ttl=61 time=24.0 ms
64 bytes from 40.0.0.2: icmp_seq=97 ttl=61 time=24.0 ms
64 bytes from 40.0.0.2: icmp_seq=98 ttl=61 time=23.9 ms
64 bytes from 40.0.0.2: icmp_seq=99 ttl=61 time=24.0 ms
64 bytes from 40.0.0.2: icmp_seq=100 ttl=61 time=23.9 ms
^C
--- 40.0.0.2 ping statistics ---
100 packets transmitted, 100 received, 0% packet loss, time 99112ms
rtt min/avg/max/mdev = 23.884/24.000/24.121/0.193 ms
```

Obr. 4.1: Oneskorenie v sieti so smerovacím protokolom RIP

4.1.2 Meranie oneskorenia v sieti so smerovacím protokolom OSPF

Na obrázku (Obr. 4.2) môžeme vidieť namerané hodnoty oneskorenia programom ping v sieti pri použití smerovacieho protokolu OSPF. Priemerná nameraná hodnota oneskorenia bola 0,53 ms.

```

64 bytes from 40.0.0.2: icmp_seq=2 ttl=60 time=0.531 ms
64 bytes from 40.0.0.2: icmp_seq=3 ttl=60 time=0.517 ms
64 bytes from 40.0.0.2: icmp_seq=4 ttl=60 time=0.547 ms
64 bytes from 40.0.0.2: icmp_seq=5 ttl=60 time=0.508 ms
64 bytes from 40.0.0.2: icmp_seq=6 ttl=60 time=0.548 ms
64 bytes from 40.0.0.2: icmp_seq=7 ttl=60 time=0.503 ms
^C
--- 40.0.0.2 ping statistics ---
7 packets transmitted, 7 received, 0% packet loss, time 6001ms
rtt min/avg/max/mdev = 0.503/0.528/0.548/0.032 ms

```

Obr. 4.2: Oneskorenie v sieti so smerovacím protokol OSPF

4.1.3 Meranie oneskorenia vo Wi-Fi sieti

Obrázok (Obr. 4.3) zobrazuje oneskorenie namerané programom ping v sieti Wi-Fi s prístupovým bodom. Priemerná hodnota oneskorenia bola 52,608 ms.

```

64 bytes from 20.0.0.5: icmp_seq=17 ttl=127 time=50.9 ms
64 bytes from 20.0.0.5: icmp_seq=18 ttl=127 time=64.2 ms
64 bytes from 20.0.0.5: icmp_seq=19 ttl=127 time=1.09 ms
64 bytes from 20.0.0.5: icmp_seq=20 ttl=127 time=119 ms
64 bytes from 20.0.0.5: icmp_seq=21 ttl=127 time=0.973 ms
64 bytes from 20.0.0.5: icmp_seq=22 ttl=127 time=43.7 ms
^C
--- 20.0.0.5 ping statistics ---
22 packets transmitted, 22 received, 0% packet loss, time 21023ms
rtt min/avg/max/mdev = 0.825/52.608/171.334/55.253 ms

```

Obr. 4.3: Oneskorenie vo Wi-Fi sieti

4.2 Meranie priepustnosti pomocou programu iperf

Program iperf je jednoduchý nástroj slúžiaci na testovanie priepustnosti siete. Funguje na princípe server - klient. Jeho veľkou výhodou je, že existuje vo verzii pre Windows a aj pre Linux.

Je potrebné so spustiť najprv na serveru a to pomocou nasledovného príkazu:

> **iperf -s**

Následne ho spustíme aj na klientovi týmto príkazom:

>**iperf -c <IP adresa iperf serveru>**

Meranie trvá 10 sekúnd a následne sa v príkazovom riadku vypíšu namerané výsledky.

4.2.1 Meranie priepustnosti v sieti so smerovacím protokolom RIP

Nižšie uvedený obrázok (Obr. 4.4) zobrazuje priepustnosť siete nameranú v sieti so smerovacím protokolom RIP. Priepustnosť zodpovedá hodnote **Bandwidth**, čo je 89,4 Kbit/s.

```
root@student-desktop:/home/student# iperf -s
-----
Server listening on TCP port 5001
TCP window size: 85.3 KByte (default)
-----
[  4] local 40.0.0.2 port 5001 connected with 10.0.0.1 port 49794
[ ID] Interval      Transfer    Bandwidth
[  4]  0.0-27.1 sec  296 KBytes  89.4 Kbits/sec
```

Obr. 4.4: Priepustnosť siete so smerovacím protokolom RIP

4.2.2 Meranie priepustnosti v sieti so smerovacím protokolom OSPF

Nasledujúci obrázok (Obr. 4.5) popisuje priepustnosť v sieti s použitím smerovacím protokolom OSPF. Nameraná priepustnosť je 94,6 Mbit/s.

```
root@student-desktop:/home/student# iperf -c 40.0.0.2
-----
Client connecting to 40.0.0.2, TCP port 5001
TCP window size: 16.0 KByte (default)
-----
[  3] local 10.0.0.1 port 36129 connected with 40.0.0.2 port 5001
[ ID] Interval      Transfer    Bandwidth
[  3]  0.0-10.0 sec  113 MBytes  94.6 Mbits/sec
root@student-desktop:/home/student#
```

Obr. 4.5: Priepustnosť siete so smerovacím protokolom OSPF

4.2.3 Meranie priepustnosti vo Wi-Fi sieti

Dole uvedený obrázok (Obr. 4.6) zobrazuje priepustnosť vo Wi-Fi sieti. Nameraná hodnota je 20 Mbit/s.

```
root@student-desktop:/home/student# iperf -c 20.0.0.5
-----
Client connecting to 20.0.0.5, TCP port 5001
TCP window size: 16.0 KByte (default)
-----
[  3] local 10.0.0.1 port 44213 connected with 20.0.0.5 port 5001
[ ID] Interval      Transfer    Bandwidth
[  3]  0.0-10.0 sec  24.1 MBytes  20.2 Mbits/sec
root@student-desktop:/home/student#
```

Obr. 4.6: Priepustnosť vo Wi-Fi sieti

5 Porovnanie nameraných výsledkov

V tabuľke (Tab. 5.1) je možné vidieť porovnanie nameraných výsledkov pri simuláciach v programe OPNET Modeler a pri reálnom zapojení v laboratóriu N312.

	Simulácia		Laboratórium N312	
	Oneskorenie	Priepustnosť	Oneskorenia	Priepustnosť
	[ms]	[Kbit/s]	[ms]	[Kbit/s]
Smerovací protokol RIP	35	119,8	24	89,4
Smerovací protokol OSPF	0,45	92,7 Mbit/s	0,53	94,6 Mbit/s
Wi-Fi sieť	1	44,2 Mbit/s	52,6	20 Mbit/s

Tab. 5.1: Namerané výsledky

Merania prebehli v troch modeloch sietí. Konkrétne sa jednalo o siete so smerovacími protokolmi RIP a OSPF a o Wi-Fi sieť s prístupovým bodom. Namerané hodnoty pri simuláciách predstavujú minimálne oneskorenie a maximálnu priepustnosť pri dokonalých podmienkach. Reálne hodnoty však odzrkadľujú skutočnosť, kde zapojené siete ovplyvňovali rôzne druhy rušenia.

V simulácii siete so smerovacím protokolom RIP som nameral oneskorenie 35 ms a priepustnosť siete 119,8 Kbit/s. V reálnom zapojení v školskom laboratóriu N312 som nameral oneskorenie 24 ms a priepustnosť 89,4 Kbit/s.

Oneskorenie v simulovanej sieti so smerovacím protokolom OSPF bolo 0,45 ms a jej priepustnosť 92,7 Mbit/s. Na reálnom zapojení som nameral oneskorenie 0,53 ms a priepustnosť 94,6 Mbit/s.

V poslednom simulovanom modeli siete Wi-Fi s prístupovým bodom som nameral oneskorenie 1 ms a maximálnu priepustnosť 44,2 Mbit/s. Na reálnom zapojení oneskorenie bolo 52,608 ms a priepustnosť 20 Mbit/s.

Podľa nameraných výsledkov môžeme vidieť, že u sietí s použitými smerovacími protokolmi RIP a OSPF sa výsledky zo simulácií príliš nelíšia od hodnôt nameraných na reálnych zariadeniach. Avšak na výsledkoch siete Wi-Fi je vidieť až polovičný pokles u priepustnosti siete a až päťdesiatnásobne väčšie oneskorenie na reálnom zapojení oproti simulácii. Tento rozdiel možno

prisúdiť pravdepodobnému rušeniu vysielaných signálov z iných prístupových bodov, ktoré zabezpečujú pokrytie na budove N.

6 Záver

Cieľom tejto bakalárskej práce bolo zoznámenie sa s programom OPNET Modeler, vytvorenie simulácií navrhnutých sietí a namerané výsledky oneskorenia a priepustnosti siete porovnať s výsledkami nameranými na reálnych zariadeniach v školskom laboratóriu N312 pomocou programov ping a iperf.

Vďaka takýmto simuláciám je pri budovaní a rozširovaní sietí možné predchádzať znižovaniu kvality poskytovaných služieb spôsobenou zlou konfiguráciou, nesprávnym výberom alebo chybným zapojením použitých prvkov siete. Medzi ďalšie výhody simulačných programov určite patrí možnosť sledovať chovanie siete pri dlhodobej prevádzke v priebehu niekoľkých minút alebo hodín.

Simulačný program OPNET Modeler je prepracovaný program s množstvom funkcií pre modelovanie a analýzu sietí. Jeho nevýhodou je potreba podrobného nastavenia niektorých modelov a funkcií a určite nutnosť zakúpenia licencie. Medzi nevýhody určite tiež patrí nutnosť dokúpenia rozširujúcich balíkov.

Vďaka tejto bakalárskej práci som sa zoznámil nielen s týmto programom, ale som si aj prehĺbil svoje poznatky zo zostavovania sietí, fungovania smerovacích protokolov RIP a OSPF a programovania CISCO smerovačov a prístupových bodov.

Použitá literatura

- [1] KÁLLLAY, Fedor; PENIAK, Peter. *Počítačové sítě a jejich aplikace*. Druhé, aktualizované vydání. Praha : Grada Publishing, 2003. 356 s. ISBN 80-247-0545-1
- [2] <http://ifanda.cz> - *Sniffer pro routovací protokol RIP* [online]
<<http://ifanda.cz/clanky/cpp-a-c/sniffer-pro-routovaci-protokol-rip>>
- [3] GRYGÁREK, Petr. *SPS* [online].[cit. 2011-05-03]. Smerovací protokol OSPF. Dostupné z WWW:
<<http://www.cs.vsb.cz/grygarek/SPS/lect/OSPF/ospf.html>>.
- [4] HORSKÝ, Radek. *Bezdrátové sítě Wi-Fi v rekordnom čase*. Praha : Grada Publishing, 2006. 84 s. ISBN 80-247-1790-5.
- [5] BRISBIN, Shelly. *Build Your Own wi-fi Network*. Berkeley, California : The McGraw-Hill Companies, 2002. 248 s. ISBN 0-07-222624-2.
- [6] BIGELOW, Stephnen. *Mistrovství v počítačových sítích*. Brno : Computer Press, 2004. 990 s. ISBN 80-25-0178-9.
- [7] OPNET TECHNOLOGIES, Opnet Modeler Produkt - Documentation Release 14.5, Opnet Technologies Inc., 2008.

Obsah priloženého CD

- Bakalárska práca vo formáte PDF
- Projekty jednotlivých simulácií vytvorených v OPNET Modeleri